

レーシングカートのレース走行におけるタイヤトレッド表面温度

Temperature on the Surface of the Racing Kart Tire Tread

水谷 充†

Mitsuru MIZUTANI

Abstract Tire tread temperature affects both the friction coefficient (μ) and also the life of a tire. Therefore, the management of the tire temperature is extremely important for the good performance of the tire. Moreover, the temperature distribution of the tire tread is closely related to the load distribution of the tire tread. Therefore, there is a possibility that details of the maneuver of the racing kart can be clarified by measuring the tire temperature. The tire tread surface temperature is measured, and the relation between the maneuver of the racing kart and the tire tread surface temperature is clarified.

1. はじめに

レース用タイヤ^{1) 2)}は、その必要性から摩擦係数が極めて高く作られている一方、その最適な性能を発揮する温度範囲は狭い。したがって、レース時におけるタイヤの温度管理は、その性能を発揮する上で、重要な要素である。不適切な温度によってタイヤの摩擦や摩擦係数の低下を招く。

レーシングカートは、コーナリング中における横加速度が2Gを超えており、またレースの走行距離も比較的短いため、レース用タイヤの中でも特に摩擦係数の大きな、磨耗の早いタイヤコンパウンドが使用されている。従って、レーシングカートレースにおいては、タイヤの温度管理が特に重要であり、カートの運動性能そのものを支配する要因となる。

レース走行終了直後にタイヤの温度を計測することは日常的に行われているが、走行中におけるタイヤの温度は走行終了後の温度とは著しく異なっていることが予想される。走行中のタイヤの温度を計測し、それをレース中モニターすることはすでに行われているが³⁾、レース走行中のタイヤの温度と車の運動の関係を明らかにしたものは公表されてはいない。

また、タイヤトレッドの温度およびその分布は、タイヤトレッド部に加わる負荷の状態と密接に関係している。従ってレース走行時における車の挙動およ

びタイヤに加わる負荷の状態を、タイヤトレッド表面温度の計測により明らかにできる可能性がある。

本研究は、レーシング走行時におけるタイヤトレッド表面温度の計測を行い、レーシングカートの運動とタイヤトレッド表面温度との関係を明らかにしたものである。

2. 測定装置および測定方法

タイヤ表面温度の測定には、非接触の赤外線熱電対温度計⁴⁾を用いた。計測はレーシングカート左側の前輪と後輪で行った。タイヤトレッド中央、外側、内側の3箇所、前後輪合わせて6個の温度センサーにより計測を行った。その詳細を図1、2に示す。またレーシングカートに加わる加速度を計測するためにシャーシ中央に車軸方向、横方向2方向の加速度センサーを取り付けた。計測されたデータは、データロガーにより記録した。データのサンプリングタイムはいずれも0.2秒である。

測定は、2箇所のレーシングカート用サーキット、鈴鹿南コース(Sサーキット、図3)、瑞浪レークウエー(Mサーキット、図4)において行った。それぞれの計測条件の詳細を表1、2に示す。レーシングカートのドライブは全日本クラスの選手2名が担当した。計測は、タイヤ温度が定常になっている(タイヤゴム内部の温度が一樣)ことを確認した後走行を開始し、約15週の走行の間連続して計測を行った。

† 愛知工業大学 工学部 機械工学科(豊田市)

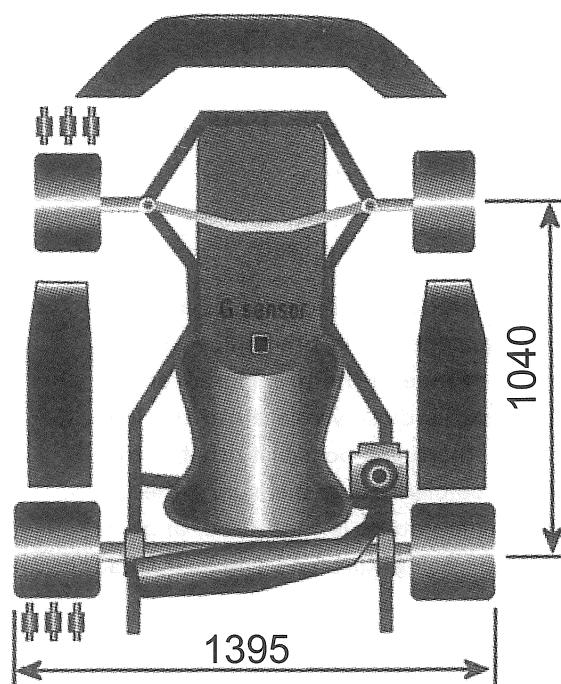


Fig. 1 Racing kart and sensors

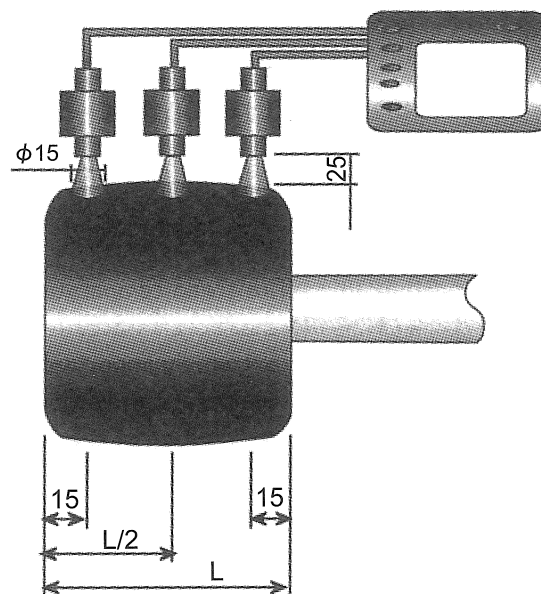


Fig. 2 Infrared temperature sensors

Table 1 Configuration for S circuit

Chassis	R32Z (Birel)			
Engine	FR125MAX (Rotax)			
Tire	YGK(Bridgestone)			
Rear shaft	$\phi 40$			
Front toe in	0			
camber	0			
Conner weight (kgf)	Fl	Fr	Rl	Rr
	31.4	34.8	47.4	47.9
Tire air pressure (kgf/mm ²)	Fl	Fr	Rl	Rr
	0.7	0.7	0.7	0.7
Atmospheric temperature	9°C			

Table 2 Configuration for M circuit

Chassis	31S (Birel)			
Engine	SV21(Ital)			
Tire	YHB(Bridgestone)			
Rear shaft	$\phi 50$			
Front toe in	0			
camber	0			
Conner weight (kgf)	Fl	Fr	Rl	Rr
	27.5	30.5	41.6	42.0
Tire air pressure (kgf/mm ²)	Fl	Fr	Rl	Rr
	0.6	0.6	0.6	0.6
Atmospheric temperature	10°C			

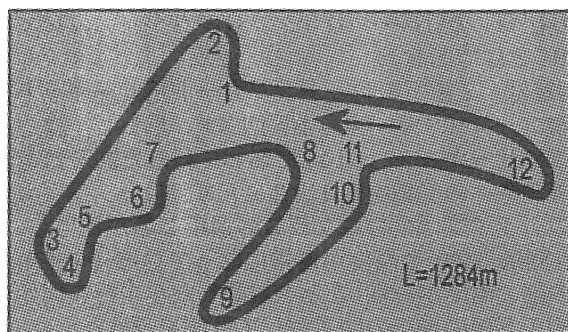


Fig. 3 Course layout of S circuit

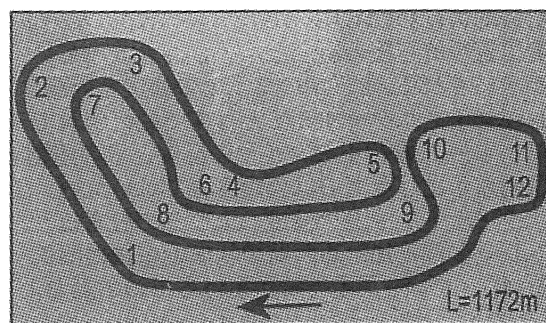


Fig. 4 Course layout of M circuit

3. 実験結果

実験結果は、Sサーキットにおける結果を主に示す。Sサーキットは全長1,284メートル、12のコーナーを持つ高速サーキットである。気温は9℃であり、かなりの低温下での計測データである。

3.1 加速度

図5にサーキット経路に沿った車軸方向、横方向の加速度を示す。図中の数字は各コーナーの番号を示している（図3参照）。コーナリング中の横方向加速度は1.5Gから2Gに達している。図6にはG-Gダイアグラムを示す。加速度の最大値はそれぞれ車軸方向加速およそ0.5G、減速はおよそ1.2G、左右のコーナリング中に加わる横方向加速度はおよそ2Gであることがわかる。軸方向に対して横方向の加速度が卓越しているカートの特徴がよく現れている。

3.2 トレッドの表面温度

タイヤトレッド部の表面温度の計測結果を示す。図7に前輪のピットアウトからピットインまでのおおよそ12ラップにおける温度の変化を示す。タイヤトレッド表面の温度はコーナリング中に急激に加熱され、それに続く直線部においては急激に冷却されている。そのコーナリング中における最高温度と直線端での最低温度との差はおよそ40℃に達している。

また、ピットアウトからおおよそ2周程度で表面温度は、定常状態の温度域に達し、その後周回を重ねてもほぼ一定の温度変化を繰り返すことが分かった。ピットイン後タイヤ表面温度が一時的に上昇するが、これはタイヤトレッド内部の温度が表面よりも高くなっているためである。

3.3 温度変化の詳細

次にシャーシ左側前輪のコース1周における温度変化を図8に示す。タイヤ中央の温度が最も高く、コーナリング中における急激な加熱及び直線路における急激な冷却を繰り返していることがわかる。また、タイヤの車体アウト側及びイン側の温度分布は、計測をシャーシ左側のタイヤで行っているため、右コーナーではタイヤアウト側が、左コーナーではタイヤイン側の温度が上昇しているのがわかる。また、図中に示した位置ではタイヤイン側が路面からリフトしているとみられ、アウト側、中心部における温度上昇に対してイン側の温度は逆に下降している。

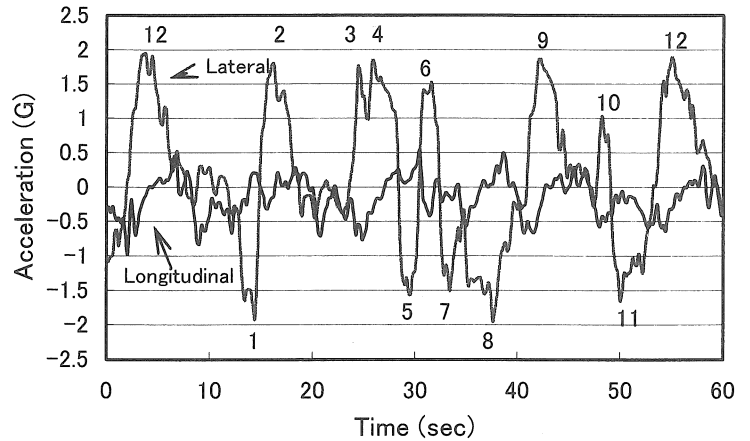


Fig. 5 Lateral and longitudinal acceleration

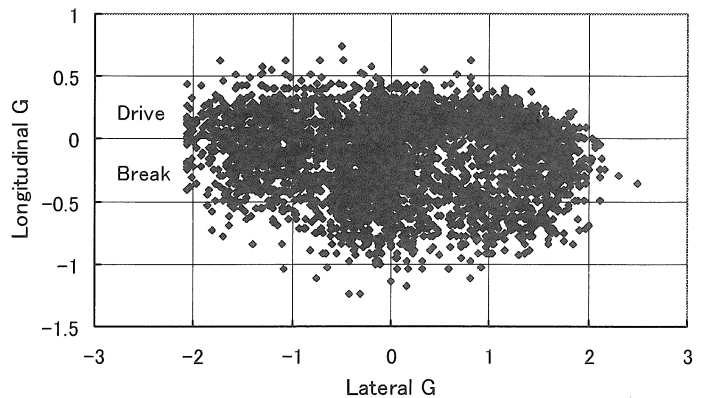


Fig. 6 G-G diagram

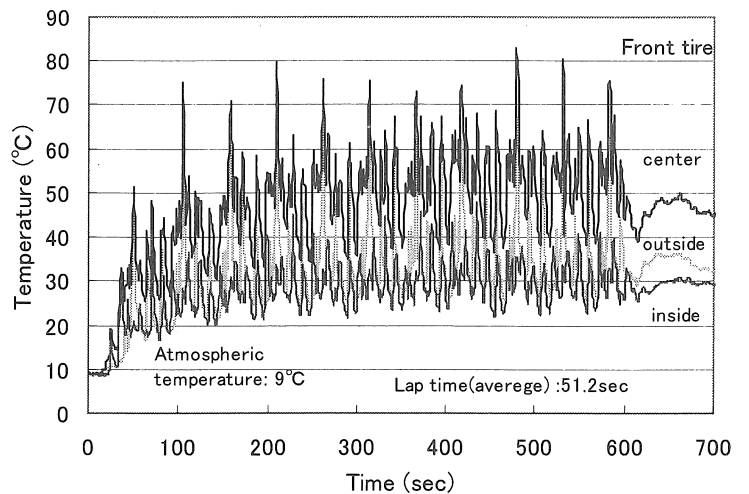


Fig.7 Temperatures on the tire tread

次に、シャーシ左側後輪における温度変化を図9に示す。後輪ではタイヤイン側が最も温度が高くなりアウト側が最も低い温度となっている。図中Bで示した点はブレーキングにおける温度上昇を示している。左側後輪における計測であるために右コーナーにおいては急激な温度上昇が見られるが、左側コーナーにおいては大きな温度上昇は見られない。

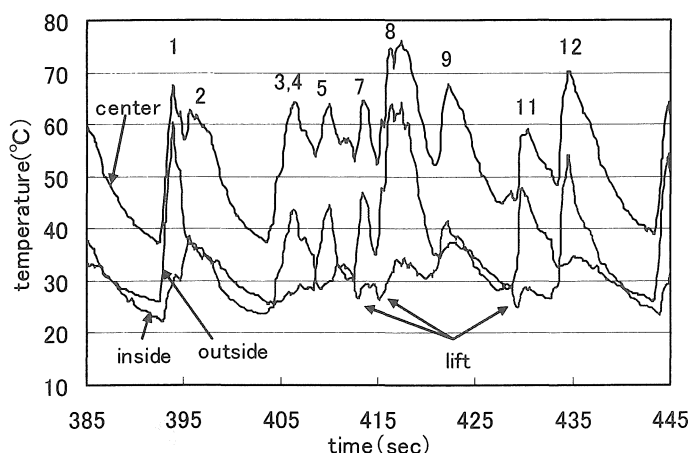


Fig. 8 Temperature vs. time (Front tire)

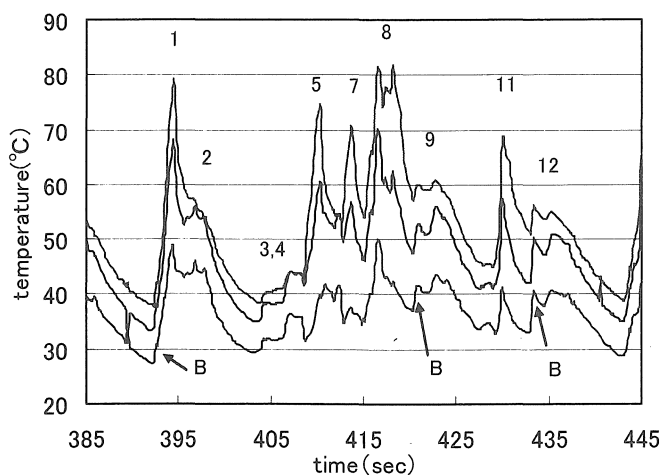


Fig.9 Temperature vs. time (Rear tire)

3. 4 トレッド横方向温度分布

各コーナーにおけるトレッド横方向温度分布を図10, 11に示す。各コーナーにおける温度分布は、そのコーナーに至るまでの経過の違い(コースレイアウトの違い)により複雑なものとなっている。そこで、各コーナーにおける温度分布の特徴を明らかにするために、以下のような無次元化処理を行った。

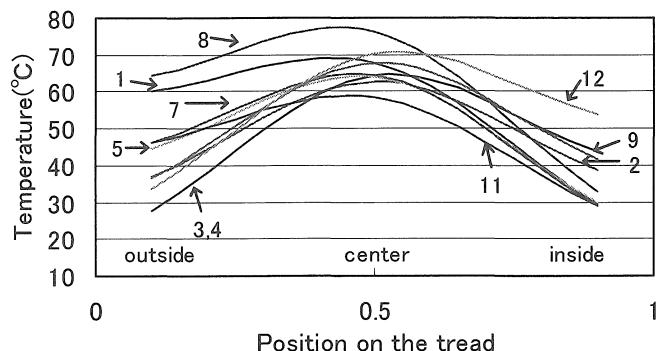


Fig. 10 Distribution of temperature (Front tire)

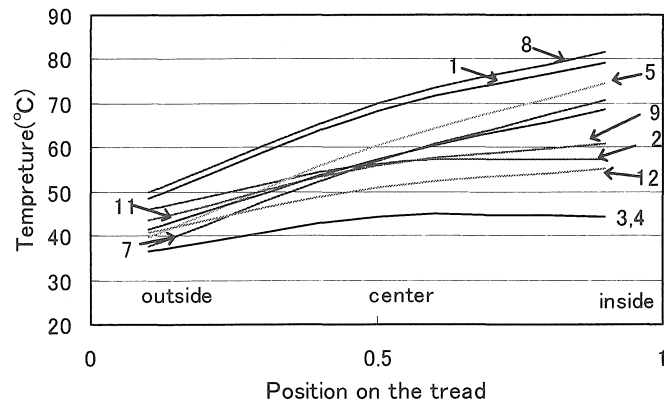


Fig. 11 Distribution of temperature (Rear tire)

3. 4. 1 無次元温度分布(前輪)

図12は前輪の各コーナーにおけるトレッド横方向温度分布をタイヤ中央における温度で割ったものである。明らかに左コーナーと右コーナーで温度分布に違いが見られる。右コーナーでは左側タイヤはコーナリングの外側に位置し、コーナリング中の加重移動によってタイヤ荷重が増大しており、その結果タイヤアウト側の温度上昇が著しい。イン側から中央にいたるまでの温度分布はいずれのコーナーにおいてもほぼ一定である。アウト側の温度分布は、コーナリング中に加わる横方向Gにほぼ比例して相対温度が高くなっている。すなわち、5, 7コーナーは1.5G, 11コーナーは1.7G, 1, 8コーナーは1.9Gである。(図5参照)

また左コーナーにおいては、コーナリングの内側に位置するため、トレッドのアウト側よりイン側の温度が高くなっているのがわかる。カートの前輪はスクラブ半径が長く、特異なアライメントを持っている。そのため、コーナリング初期において、コーナリング内側の前輪は後方に動き且つ下方に車体を持ち上げる方向に動く。従って、イン側前輪アウト側に負

荷がかかるはずであるが、コーナリングが開始されると荷重移動により、イン側前輪の荷重は減少し、アウト側にロールするためタイヤイン側の負荷が多くなる。2, 9 コーナーの温度分布はほぼ等しく、3-4 コーナー、1 2 コーナーの順にイン側の相対温度が高くなっている。横方向Gは1 2 コーナーが1. 8 Gで最も高いが他のコーナーの横Gも大差は見られない。3-4 コーナー、1 2 コーナーは半径の比較的大きな長くGのかかるコーナーである。それに対して、9 コーナーは半径の小さなコーナーでありコーナリング速度も低い。コーナーの特性による違いが明瞭に表れている。

3. 4. 2 無次元温度分布(後輪)

次に左側後輪における無次元化したタイヤトレッド横方向の温度分布を図13に示す。後輪の場合は、タイヤアウト側の温度を基準に無次元化処理を行っている。前輪と同様に右コーナーと左コーナーでは明らかな違いが見られる。右コーナーにおいては横G 1. 5 Gの5, 7 コーナーと1. 7~1. 9Gの1, 8, 11 コーナーはそれぞれほぼ同一の温度分布を示している。横Gによる温度分布の差は明瞭である。

左コーナーの場合は、2, 3-4 コーナーは9, 1 2 コーナーよりタイヤ荷重が小さく(コーナリングアウト側への荷重移動が大きい)、そのためリアシャフトノ変形量が少なくなりタイヤイン側から中央部が同程度の温度になっていると思われる。そのことは、2, 3-4 コーナーの温度上昇が比較的少ない(図6参照) ことから分かる。

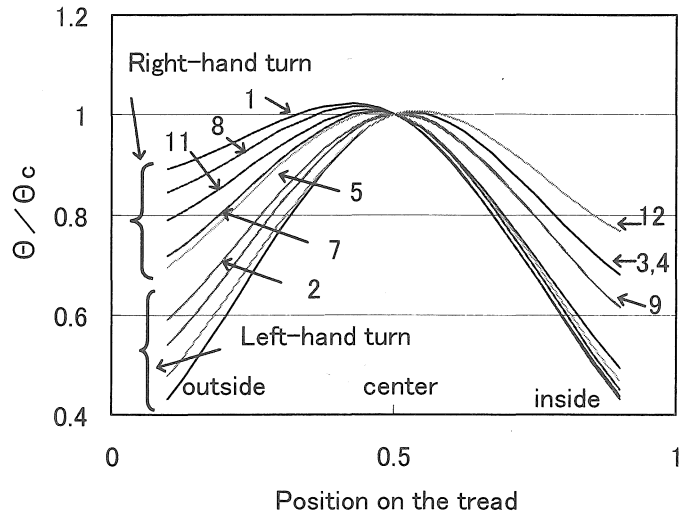


Fig. 12 Normalized temperature distribution (Front tire)

3. 5 無次元温度表示

図14に、前輪中央の値を基準とした1周における温度変化を示す。右コーナーではタイヤトレッドのアウト側が左コーナーではタイヤトレッドイン側の温度上昇が著しいことがよくわかる。また同様に図15には後輪のアウト側を基準にした温度分布を示す。右コーナーにおいてタイヤアウト側の温度上昇が著しい。本図により、各コーナーにおいてトレッドのどの部分に負荷がかかっているのか明瞭に分かる。

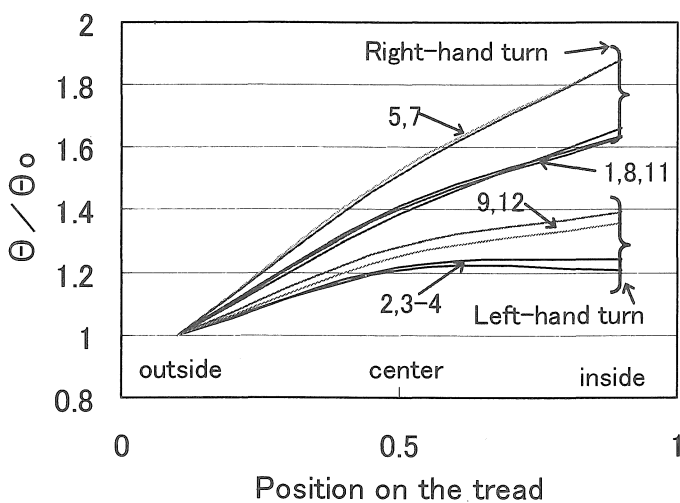


Fig. 13 Normalized temperature distribution (Rear tire)

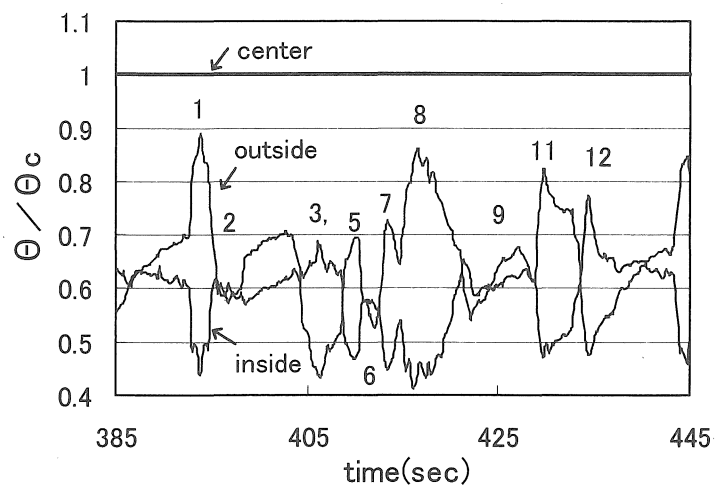


Fig. 14 Normalized temperature vs. time (Front tire)

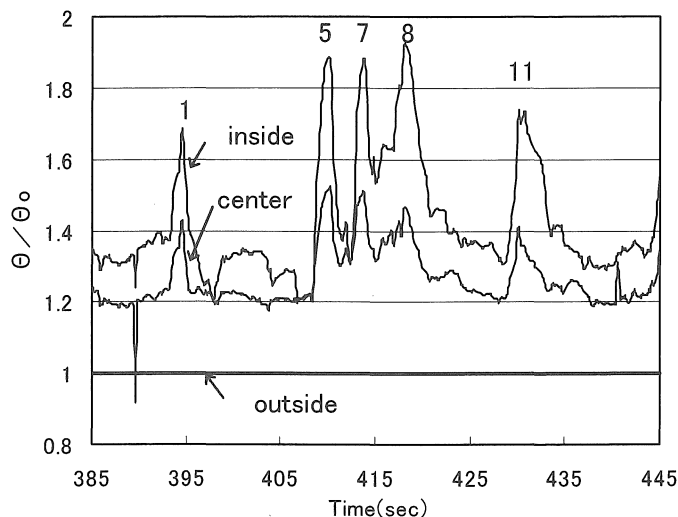


Fig. 15 Normalized temperature vs. time
(Rear tire)

3. 6 温度の変化率

次に単位時間における温度の変化率を示す。図16には前輪の温度変化率を示す。図17には後輪の温度変化率を示す。各コーナーにおいて加熱時前輪はおよそ毎秒15℃、後輪はおよそ毎秒20℃の温度変化が起きていることがわかる。

前輪においては、トレッドアウト側が、後輪においてはイン側が最も激しい温度変化を示している。

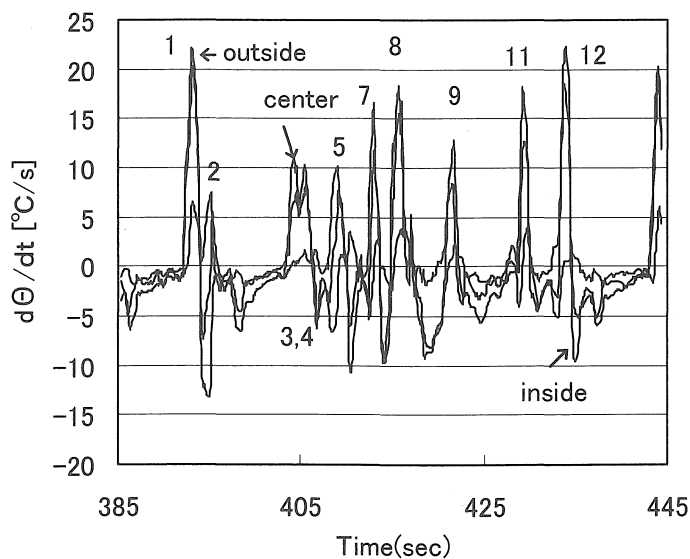


Fig. 16 Derivative of temperature (Front tire)

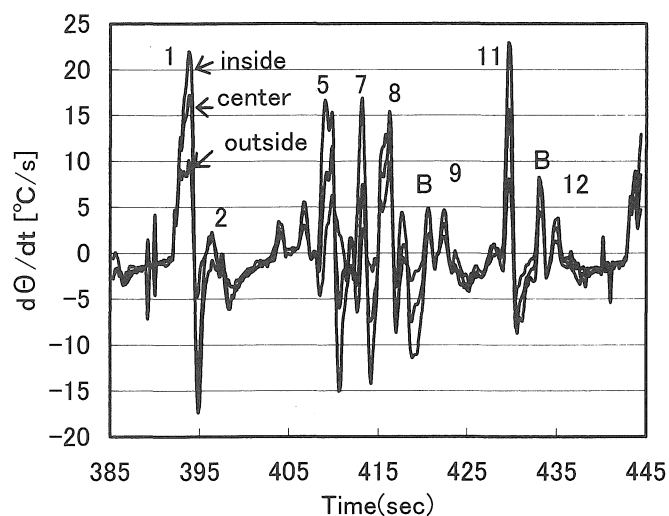


Fig. 17 Derivative of temperature (Rear tire)

3. 7 リアシャフト径の後輪温度分布に対する影響

次にレーシングカートのセッティングの違いによるタイヤ表面温度の変化を明らかにするため、一例としてリアシャフト径の後輪温度分布に対する影響を調べた。Mサーキットにおいて、リアシャフト径φ50を用いて測定を行い、φ40のリアシャフトを用いたSサーキットにおける計測結果と比較した。

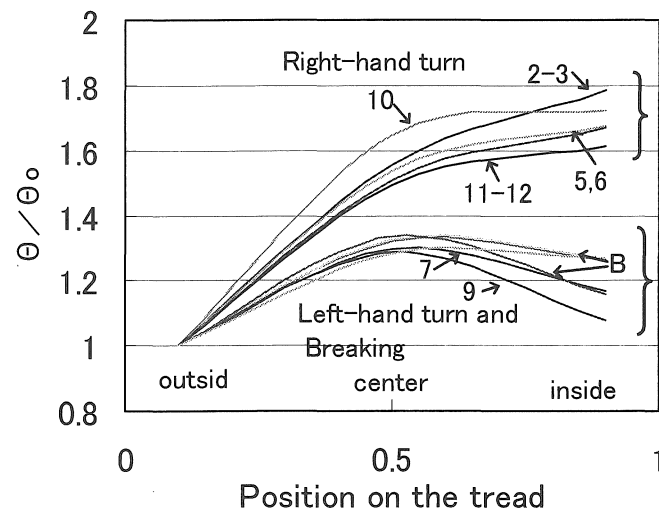


Fig. 18 Normalized temperature distribution
(Rear tire with φ50 rear shaft)

図18にMサーキットにおける後輪無次元トレッド横方向温度分布を示す。右コーナーの10, 11-12コーナーの温度分布は、図13に示すφ40のリアシャフトを使用した場合には見られない温度分布を示している。これはタイヤ中央部がイン側と同程度の温度になっておりタイヤのトレッドがより地面に平行に近づいていることを意味する。タイヤ荷重のより少ない左コーナーおよびブレーキング時にこの傾向はより著しく、タイヤ中央部が最も温度が高くなっている。

レーシングカートは、後輪がリアシャフトで直結されている構造である。シャフトの両端に後輪があり、シャフト中央部に車重がかかる構造になっている。その為直線走行時、シャフトは下に凸の状態であり、トレッドイン側に最も大きな荷重がかかる。したがって、表面温度もイン側が最も高くなっている。φ50のシャフトはφ40のシャフトに比べて一般的に剛性が高い。コーナー内側になった時タイヤ荷重は著しく減少するが、その時のシャフトの変形量は、φ50のシャフトのほうがφ40のシャフトよりも少なくなる。従って、トレッド中央部に荷重がかかり、中央部の温度が高くなるものと考えられる。

4. まとめ

レーシングカートのレース走行時におけるタイヤトレッド表面温度の測定を行った。

- 1) レーシングタイヤはコーナリング中に急激に加熱され、それに続く直線部では急激に冷却されることが分かった。高温時と低温時の温度差はおおよそ40℃にも及ぶことが分かった。
- 2) タイヤトレッド表面温度はピットアウト後急激に上昇し、サーキット2周程度でほぼ定常状態の温度域に達することが分かった。定常の温度状態に達した後は、周回数によらず一定の温度変化を繰り返すことが分かった。

3) 前輪においては、タイヤがコーナリングの外側に位置する場合はトレッドのアウト側が、コーナリングの内側の場合はイン側の温度が上昇する。後輪においてはトレッドイン側の温度が最も高く、タイヤがコーナリングの外側に位置する場合、トレッドイン側の温度上昇が著しい。

4) トレッド横方区温度分布は、トレッドの各部にかかる荷重に密接に関連しており、コーナリング中におけるカートの挙動をよく表していることがわかった。

5) タイヤトレッド表面温度は、タイヤの荷重、挙動に敏感に反応し、レーシングカートの運動を明らかにするために、有効な指標となることが分かった。

以上のように、タイヤトレッド表面温度を計測することは、レーシングカートの挙動を明らかにするために有効な手段であることが明らかになった。レーシングカートのセッティングの違いによるカートの挙動変化とタイヤトレッド温度の関係を明らかにすることを今後の課題としたい。最後に、カートのドライブを担当した佐藤和徳、佐藤崇の両氏に謝意を表す。

5. 参考文献

- 1) 吉原正文, F1への挑戦, 自動車技術, 52(12), pp. 65-68, 1998.
- 2) 浜島裕, モータースポーツを支える先端要素技術 レーシングタイヤの要求特性, 自動車技術 54(2), pp. 53-57, 2000.
- 3) 平野伸一, 宮下泉, モータースポーツ支援システムの開発, マツダ技報, 8, pp. 197-202, 1990.
- 4) 赤外線熱電対 I R t/c ハンドブック, エドックス, 東京, 1997.

(受理 平成15年3月19日)